



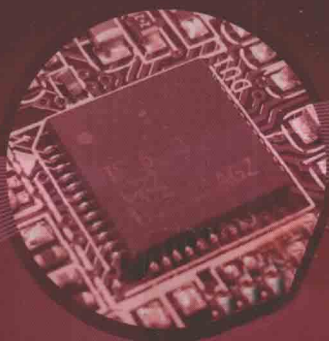
普通高等院校电子信息类应用型规划教材

数字电子技术

主 编 赵 巍

副主编 李房云 吴剑峰 陈 鼎

主 审 胡 正



SHUZI
DIANZI JISHU



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

普通高等院校电子信息类应用型规划教材

数字电子技术

主 编 赵 巍
副主编 李房云 吴剑峰 陈 鼎
主 审 胡 正

北京邮电大学出版社
· 北 京 ·

内 容 摘 要

数字电子技术是电子技术、通信、计算机、电气自动化等专业的一门专业基础课。本书在内容的编排上,以理论够用、实用为主,注重实践的教学思想而编写,着重介绍数字电路的新理论、新技术、新器件。对数字电路的常用集成电路作了比较详细的介绍。在编写过程中,力求简明扼要,通俗易懂,并结合了现代数字电子技术的发展趋势。

全书共分9章,主要内容包括:逻辑代数基础、MOS逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、半导体存储器、脉冲波形的产生与整形电路、数模与模数转换电路和综合课程设计。书中给出了大量的例题和习题,便于学生自学。

本书既可作为通信、电子、电气和计算机等专业的教材,也可供其他非电专业和成人教育、职业培训等选用。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/赵巍主编.--北京:北京邮电大学出版社,2010.8

ISBN 978-7-5635-2318-4

I. ①数… II. ①赵… III. ①数字电路—电子技术—高等学校—教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 142195 号

书 名: 数字电子技术

主 编: 赵 巍

责任编辑: 王丹丹 王 蕾

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京源海印刷有限责任公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 17.5

字 数: 442 千字

印 数: 1—3000 册

版 次: 2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-2318-4

定 价: 32.00 元

• 如有印装质量问题, 请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

本书是根据教育部“数字电子技术”课程教学的基本要求和本科人才培养的规格和特点,并结合现代数字电子技术的发展趋势而编写的。

近些年来,数字化的浪潮席卷了电子技术应用的一切领域,由于电子产品的更新周期日益缩短,新产品开发速度日益加快,因而对数字电子设计自动化提出了更高的要求,也有力地促进了数字电子技术的发展和普及。在数字集成电路方面,尽管电路的集成度仍然如摩尔定律所述的那样,使电路的复杂程度越来越高、规模越来越大,但它仍然没有走出“硅片”的范畴,因此,本门课程所讲的基本知识、基本理论和基本方法仍然是数字电子技术的基本内容。

本书的主要内容有:逻辑代数基础、MOS 逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、半导体存储器、脉冲信号的产生与整形电路、模数和数模转换电路、综合课程设计等。

在编写时,力求突出重点,使基本概念明确清晰,努力贯彻教材要少而精和理论联系实际的精神。在第 1 章~第 8 章末都附有一定数量的习题,帮助读者加深对课程内容的理解。在习题的选择上充分考虑其针对性、启发性和实用性,充分体现教学要求。使读者能够学、练结合,以帮助读者进一步正确消化、理解和巩固所学理论知识,增强应用能力。部分习题有一定的深度,以使学生在深入掌握课程内容的基础上扩展知识。综合课程设计中的读图练习、基础实验和综合训练等内容,使读者能够分层次逐步把理论与实际应用紧密结合起来,既能帮助提高读者的理解能力,又能培养读者的学习兴趣。

本书在内容及章节编排上,充分考虑电子、电气、通信和计算机等相关专业的需要,以够用和实用为教学改革方向,删去了烦琐的理论推导过程,侧重基本分析方法、设计方法和集成电路芯片的应用。在注重基本概念和基础理论的同时,更加强调应用和实践能力的培养。全书知识衔接紧凑、系统,叙述通俗易懂。适合作为电子、通信、电气及计算机等各专业的教材,也适用于成人自学和职业技术培训。

本书的特色就是“定位准确、强调基础、注重实用、精讲多练、易教易学”。

本书由华东交通大学理工学院赵巍担任主编,并对全书内容进行了组织、统稿。华东交通大学理工学院李房云、陈鼎,华东交通大学交通信息工程研究所吴剑峰担任副主编。华东交通大学理工学院胡正教授不辞辛劳地担任了本书的主审工作,审阅了全部书稿并提出许多宝贵意见。

本书在编著过程中还得到了华东交通大学理工学院电信分院有关领导和老师的大力支持和帮助,特别是黄建华副教授在教材出版工作方面给予了大力的支持和指导。华东交通大学理工学院电子教研室的各位老师对于本书的编写也给予了大力支持和帮助,特别是胡正教授的关心和支持。谨在此向他们表示衷心的感谢!因编写参考了大

量书籍和网上资料,不能将所有出处一一列出,在此,向所有被引用到本教材的书籍和资料的作者表示最真诚的感谢!

尽管我们在《数字电子技术》教材的特色建设方面做出了许多努力,但由于我们对先进的数字电子技术了解不够,编者水平有限,书中必然还存在不少的缺点和错误,殷切期望各方面的读者能给以批评和指正。

编 者

目 录

第 1 章 逻辑代数基础	(1)
1.1 数制	(1)
1.1.1 进位计数制	(1)
1.1.2 十进制数的表示	(1)
1.1.3 二进制数的表示	(2)
1.1.4 其他进制数的表示	(3)
1.2 数制转换	(4)
1.2.1 其他进制数转换为十进制数	(4)
1.2.2 十进制数转换为二进制数	(4)
1.2.3 二进制数与八进制数、十六进制数之间的转换	(5)
1.3 编码	(6)
1.3.1 常用二-十进制码	(6)
1.3.2 奇偶校验码	(7)
1.3.3 字符代码	(8)
1.4 逻辑代数基础	(8)
1.4.1 逻辑变量	(9)
1.4.2 基本逻辑运算	(9)
1.4.3 其他常用逻辑运算	(10)
1.5 逻辑函数及其表示方法	(10)
1.5.1 逻辑函数的建立	(11)
1.5.2 逻辑函数的表示方法	(11)
1.6 逻辑代数的定律及规则	(12)
1.6.1 逻辑代数的基本定律	(12)
1.6.2 逻辑代数的基本规则	(13)
1.6.3 逻辑函数的代数化简法	(14)
1.6.4 逻辑函数的卡诺图化简法	(15)
1.6.5 逻辑函数的卡诺图化简法	(19)
1.6.6 具有无关项的逻辑函数的化简	(21)
习题一	(23)
第 2 章 MOS 逻辑门电路	(25)
2.1 概述	(25)
2.1.1 数字集成电路简介	(25)
2.1.2 逻辑电路的一般特性	(26)
2.1.3 MOS 开关及其等效电路	(31)

2.1.4	CMOS 反相器	(32)
2.1.5	CMOS 逻辑门电路	(34)
2.1.6	CMOS 漏极开路门电路和三态输出门电路	(36)
2.1.7	CMOS 传输门	(41)
2.1.8	CMOS 逻辑门电路的技术参数	(42)
2.1.9	NMOS 门电路	(42)
2.2	TTL 逻辑门电路	(44)
2.2.1	BJT 的开关特性	(44)
2.2.2	基本 BJT 反相器的动态性能	(45)
2.2.3	TTL 反相器的基本电路	(46)
2.2.4	TTL 逻辑门电路	(47)
2.2.5	集电极开路门和三态门电路	(48)
2.2.6	BiCMOS 门电路	(48)
2.2.7	改进型 TTL 门电路——抗饱和 TTL 电路	(49)
2.3	射极耦合逻辑门电路	(50)
2.4	砷化镓逻辑门电路	(52)
2.4.1	直接耦合 FET 逻辑电路	(53)
2.4.2	耗尽型 FET 逻辑门电路	(53)
	习题二	(54)
第 3 章	组合逻辑电路	(57)
3.1	概述	(57)
3.1.1	组合逻辑电路的特点	(57)
3.1.2	逻辑功能的描述	(57)
3.1.3	3 种基本逻辑门及其表示	(57)
3.1.4	由 3 种基本逻辑门导出的其他逻辑门及其表示	(59)
3.2	组合逻辑电路的分析方法和设计方法	(61)
3.2.1	组合逻辑电路的分析方法	(61)
3.2.2	组合逻辑电路的设计方法	(61)
3.3	若干常用的组合逻辑电路	(63)
3.3.1	加法器	(63)
3.3.2	编码器	(65)
3.3.3	译码器	(68)
3.3.4	数据选择器	(72)
3.3.5	消除竞争-冒险现象的方法	(74)
	习题三	(75)
第 4 章	触发器	(78)
4.1	触发器概述	(78)
4.2	基本 RS 触发器	(78)
4.2.1	基本 RS 触发器电路组成及逻辑符号	(78)
4.2.2	基本 RS 触发器逻辑功能	(79)

4.3	同步触发器	(79)
4.3.1	同步 RS 触发器电路结构	(79)
4.3.2	同步 D 触发器	(81)
4.3.3	同步触发器存在的问题——空翻	(82)
4.4	主从触发器	(82)
4.4.1	主从 RS 触发器	(82)
4.4.2	主从 JK 触发器	(84)
4.5	T 触发器	(86)
4.6	集成触发器	(86)
4.6.1	几种常见的集成触发器	(87)
4.6.2	触发器的主要应用	(87)
	习题四	(87)
第 5 章	时序逻辑电路	(92)
5.1	时序逻辑电路的基本概念	(92)
5.2	时序逻辑电路的一般分析方法	(93)
5.3	计数器	(96)
5.3.1	二进制计数器	(96)
5.3.2	非二进制计数器	(102)
5.3.3	集成计数器的应用	(107)
5.4	数码寄存器与移位寄存器	(111)
5.4.1	数码寄存器	(111)
5.4.2	移位寄存器	(112)
5.4.3	集成移位寄存器 74LS194	(114)
5.4.4	移位寄存器构成的移位型计数器	(115)
5.5	同步时序逻辑电路的设计方法	(116)
5.5.1	同步时序逻辑电路的设计方法	(116)
5.5.2	异步时序逻辑电路的设计方法	(120)
	习题五	(122)
第 6 章	半导体存储器	(124)
6.1	随机存取存储器	(124)
6.1.1	RAM 的基本结构	(124)
6.1.2	RAM 的存储单元	(128)
6.1.3	RAM 的容量扩展	(130)
6.1.4	RAM 的芯片简介	(131)
6.2	只读存储器	(131)
6.2.1	ROM 的分类	(131)
6.2.2	ROM 的结构及工作原理	(132)
6.2.3	ROM 的应用	(134)
6.2.4	常用的 EPROM 举例——2764	(136)
6.2.5	ROM 容量的扩展	(138)

习题六	(139)
第 7 章 脉冲波形的产生与整形电路	(140)
7.1 脉冲信号	(140)
7.2 施密特触发器	(141)
7.2.1 门电路组成的施密特触发器	(141)
7.2.2 集成施密特触发器	(142)
7.2.3 施密特触发器的应用	(144)
7.3 单稳态触发器	(145)
7.3.1 门电路组成的微分型单稳态触发器	(145)
7.3.2 集成单稳态触发器	(146)
7.3.3 单稳态触发器的应用	(149)
7.4 多谐振荡器	(150)
7.5 集成 555 定时器	(152)
7.5.1 555 定时器的电路结构与工作原理	(152)
7.5.2 用 555 定时器构成的施密特触发器	(154)
7.5.3 用 555 定时器构成的多谐振荡器	(155)
7.5.4 用 555 定时器单稳态触发器	(158)
习题七	(162)
第 8 章 数模与模数转换电路	(164)
8.1 D/A 转换器	(164)
8.1.1 D/A 转换器的基本原理	(164)
8.1.2 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	(165)
8.1.3 权电流型 D/A 转换器	(166)
8.1.4 权电流型 D/A 转换器应用举例	(168)
8.1.5 D/A 转换器的主要技术指标	(169)
8.2 A/D 转换器	(170)
8.2.1 A/D 转换的一般步骤和采样定理	(170)
8.2.2 采样-保持电路	(171)
8.2.3 并行比较型 A/D 转换器	(172)
8.2.4 逐次比较型 A/D 转换器	(174)
8.2.5 双积分型 A/D 转换器	(175)
8.2.6 A/D 转换器的主要技术指标	(178)
8.2.7 集成 A/D 转换器及其应用	(178)
习题八	(181)
第 9 章 综合课程设计	(184)
9.1 概述	(184)
9.2 智力竞赛抢答器电路设计	(185)
9.2.1 设计任务及要求	(185)
9.2.2 设计方案提示	(185)
9.2.3 主要元器件选择	(185)

9.2.4 设计原理及参考电路	(185)
9.3 数字电子钟逻辑电路设计	(187)
9.3.1 简述	(187)
9.3.2 设计任务及要求	(187)
9.3.3 设计方案提示	(188)
9.3.4 主要元器件选择	(189)
9.3.5 设计原理及参考电路	(190)
9.4 交通灯控制逻辑电路设计	(192)
9.4.1 简述	(192)
9.4.2 设计任务及要求	(192)
9.4.3 设计方案提示	(194)
9.4.4 主要元器件选择	(195)
9.4.5 设计原理及参考电路	(196)
9.5 数字温度计逻辑电路设计	(196)
9.5.1 设计任务及要求	(196)
9.5.2 设计方案提示	(196)
9.5.3 主要元器件选择	(199)
附录	(200)
实验一 TTL 集成逻辑门的逻辑功能与参数测试	(200)
实验二 组合逻辑电路的设计与测试	(206)
实验三 译码器及其应用	(209)
实验四 数据选择器及其应用	(215)
实验五 触发器及其应用	(222)
实验六 计数器及其应用	(229)
实验七 移位寄存器及其应用	(234)
实验八 脉冲分配器及其应用	(240)
实验九 555 型集成时基电路及其应用	(244)
实验十 D/A、A/D 转换器	(250)
实验十一 电子秒表	(256)
实验十二 $3\frac{1}{2}$ 位直流数字电压表	(261)
参考文献	(267)

第 1 章 逻辑代数基础

随着信息时代的到来,“数字”这两个字正以越来越高的频率出现在各个领域,如数字手表、数字电视、数字通信、数字控制等,数字化已成为当今电子技术的发展潮流。数字电路是数字电子技术的核心,是计算机和数字通信的硬件基础。本章首先介绍数字电路的一些基本概念及数字电路中常用的数制与码制;然后介绍数字逻辑中的基本逻辑运算、逻辑函数及其表示方法,最后介绍逻辑函数的化简。

1.1 数 制

1.1.1 进位计数制

用一组统一的符号和规则表示数的方法,称为进位计数制。

它的概念描述为:把数分为不同的位数,逐位累加,加到一定数量后,再从零开始,同时向高位进位。

进位计数制有 3 个要素:数码符号、进位规则和进位基数。数码符号指进位计数制用来表示数的符号;进位规则是指进位计数制在低位向高位进位时遵循的法则;进位基数表示进位计数制所具有的数字符号的个数。

1.1.2 十进制数的表示

在日常生活中,人们一般都采用十进制数来计数,十进制数一共有 10 个数码符号,即 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9。十进制的进位基数为 10,表示十进制数一共有 10 个数码符号。十进制的计算规则是由低位向高位进位时“逢十进一”,也就是说,每位累计不能超过 9,计满 10 就应该向高位进 1。

进位计数制中,当某一位的数码为“1”时,它所表征的数值称为该位的“权”。当人们看到一个十进制数,如 375.38 时,会立刻想到这个数左边第一位为百位,代表 300,左边第二位为十位,代表 70,左边第三位为个位,代表 5,小数点右边第一位代表十分位,即 $3/10$,小数点右边第二位代表百分位,即 $8/100$ 。从左至右每一位的权分别是: 10^2 、 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 、 10^{-2} 。这样 375.38 按权展开式如下:

$$375.38 = 3 \times 10^2 + 7 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 3 \times 10^{-1} + 8 \times 10^{-2}$$

对于十进制数的表示,可以在数字的右下角标注 10 或 D,对于任意一个十进制数 N ,其按权展开式如下:

$$\begin{aligned}
 (N)_D &= a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + a_1 \times 10^1 + a_0 \times 10^0 + a_{-1} \times 10^{-1} + \\
 &\quad a_{-2} \times 10^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 10^{-m} \\
 &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 10^i
 \end{aligned}$$

其中, a_i 表示各个数字符号, 为 0~9 这 10 个数码当中的一个; n 为整数部分的位数; m 为小数部分的位数。

1.1.3 二进制数的表示

数字系统中常用的进位计数制是二进制数, 二进制数一共有 2 个数码符号, 即 0 和 1。二进制的进位基数为 2, 表示二进制数一共有 2 个数码符号。二进制的计算规则是由低位向高位进位时“逢二进一”。

对于二进制数的表示, 可以在数字的右下角标注 2 或 B。例如, $(10010)_B$ 就是一个二进制数。不同数位表示的值不同, 各位的权是以 2 为底的连续整数幂, 从右向左递增。

对于任意一个二进制数 N , 其按权展开式如下:

$$\begin{aligned}
 (N)_B &= a_{n-1} \times 2^{n-1} + a_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + a_1 \times 2^1 + a_0 \times 2^0 + a_{-1} \times 2^{-1} + \\
 &\quad a_{-2} \times 2^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 2^{-m} \\
 &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 2^i
 \end{aligned}$$

其中, a_i 表示各个数字符号, 为 0 或 1; n 为整数部分的位数; m 为小数部分的位数。

在数字系统中, 常用二进制来表示数字和进行运算, 因为它具有如下优点:

(1) 二进制数只有 0 和 1 两个数码, 任何具有两个不同稳定状态的元件都可以用来表示一位二进制数。例如晶体管的导通与截止, 脉冲信号的“有”与“无”。

(2) 二进制运算规则简单, 其运算规则如下。

加法:	$0+0=0$ $0+1=1$
	$1+0=1$ $1+1=0$ (进位)
减法:	$0-0=0$ $0-1=1$ (借位)
	$1-0=1$ $1-1=0$
乘法:	$0 \times 0=0$ $0 \times 1=0$
	$1 \times 0=0$ $1 \times 1=1$
除法:	$0 \div 1=0$ $1 \div 1=1$

例 1.1.1 求 $(1011101)_B$ 与 $(0010011)_B$ 的和。

解

$$\begin{array}{r}
 1011101 \\
 + \quad 0010011 \\
 \hline
 1110000
 \end{array}$$

例 1.1.2 求 $(1101)_B$ 与 $(0101)_B$ 的乘积。

解

$$\begin{array}{r}
 1101 \\
 \times \quad 0101 \\
 \hline
 1101 \\
 0000 \\
 1101 \\
 0000 \\
 \hline
 01000001
 \end{array}$$

(3) 二进制数只有两个状态,数字的传输和处理不容易出错,可靠性高。

(4) 二进制数码的 0 和 1,可与逻辑代数中逻辑变量的值“假”和“真”对应起来。也就是可以用一个逻辑变量代表一个二进制码,这样逻辑运算中就可以使用逻辑代数这个数学工具了。

1.1.4 其他进制数的表示

二进制数运算规则简单,便于电路实现,是数字系统中广泛采用的一种数值。但是二进制表示一个数时,数位过长,不便于读写和记忆,容易出错。因为常常采用的还有八进制和十六进制,这两种进制便于读写和阅读,而且具有二进制的优点,将它们转为二进制数十分容易。

八进制的基数是 8,采用的数码是 0、1、2、3、4、5、6、7。计数规则是低位向高位“逢八进一”。权是以 8 为底的连续整数幂,从右向左递增。由于八进制数码和十进制前 8 个数码相同,为便于区分,通常在八进制数的右下角标记 8 或者字母 O。例如 $(53.7)_8$ 就是一个八进制数。

十六进制数基数为 16,采用的数码是 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F。其中 A、B、C、D、E、F 分别表示十进制数字 10、11、12、13、14、15。十六进制的计数规则是低位向高位“逢十六进一”。权是以 16 为底的连续整数幂,从右向左递增。为便于区分,通常在十六进制数右下角标注 16 或数字后面接 H。例如,36FA.4BH 就是十六进制数。

一般来说,对于任意的 r 进制数。都有 r 个数码,计数规则为“逢 r 进一”。权是以 r 为底的连续整数幂,从右向左递增。其按权展开式普遍形式如下:

$$\begin{aligned}(N)_r &= a_{n-1} \times r^{n-1} + a_{n-2} \times r^{n-2} + \cdots + a_1 \times r^1 + a_0 \times r^0 + a_{-1} \times r^{-1} + \\ &\quad a_{-2} \times r^{-2} + \cdots + a_{-m} \times r^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times r^i\end{aligned}$$

其中, a_i 表示各个数字符号,为 $0 \sim r-1$ 这 r 个数码中的一个; n 为整数部分的位数; m 为小数部分的位数。

如表 1.1 所示为各种常用的不同进制数的区别,如表 1.2 所示为常用进制数前 16 个数。

表 1.1 各种常用的不同进制的区别

常用进制	英文表示符号	数码符号	进位规则	进位基数
二进制	B	0、1	逢二进一	2
八进制	O	0、1、2、3、4、5、6、7	逢八进一	8
十进制	D	0、1、2、3、4、5、6、7、8、9	逢十进一	10
十六进制	H	0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F	逢十六进一	16

表 1.2 不同进制计数制的各种数码

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
0	0000	0	0
1	0001	1	1
2	0010	2	2

续表

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
3	0011	3	3
4	0100	4	4
5	0101	5	5
6	0110	6	6
7	0111	7	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F

1.2 数制转换

1.2.1 其他进制数转换为十进制数

在计算机和其他数字系统中,普遍采用的是二进制数,而人们习惯使用十进制数,所以在信息处理中,必须先把十进制数转换成二进制数,然后再将二进制数的计算结果转换为人们所熟悉的十进制数。

其他进制数转换成十进制数是很方便的,只要将其他进制数写成按权展开式,并将式中的各项计算出来,即可得到相对应的十进制数。例如:

$$\begin{aligned}
 (110110.101)_B &= 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} \\
 &\quad + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\
 &= 32 + 16 + 4 + 2 + 0.5 + 0.125 \\
 &= (54.625)_D
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (5AF.8C)_H &= 5 \times 16^2 + 10 \times 16^1 + 15 \times 16^0 + 8 \times 16^{-1} + 12 \times 16^{-2} \\
 &= 1\,280 + 160 + 15 + 0.5 + 0.046875 \\
 &= (1\,455.546875)_D
 \end{aligned}$$

1.2.2 十进制数转换为二进制数

十进制数转换成二进制数时,需将待转的十进制数分成整数部分和小数部分,整数部分和小数部分分别转换。

整数部分采用“除二取整法”,即用十进制数整数部分除以2,取余数“1”或“0”做为相应二进制数的最低位,把得到的商再除以2,取余数做为二进制数的次低位,依此类推,直到商

为0,所得余数为最高位。

例如,将十进制整数29转换为二进制数。

$2 \overline{)29}$	余数	
$2 \overline{)14}$	...1	最低位
$2 \overline{)7}$	...0	
$2 \overline{)3}$	...1	
$2 \overline{)1}$	...1	
0	...1	最高位

结果为: $(29)_D = (11101)_B$ 。

小数部分采用“乘二取整法”,即用十进制数小数部分乘以2,取其整数“1”或“0”做为二进制小数的最高位,然后将乘积的小数部分再乘以2,并再次取整做为二进制数的次高位,依此类推,直到小数部分变为0或达到所要求的精度。

例如,将十进制小数0.3125转换为二进制数。

	余数	
$0.3125 \times 2 = \boxed{0}.625$	...0	最高位
$0.625 \times 2 = \boxed{1}.25$	...1	
$0.25 \times 2 = \boxed{0}.5$	...0	
$0.5 \times 2 = \boxed{1}.0$	...1	最低位

注意:运算时,式中的整数部分不参与连乘。

结果为: $(0.3125)_D = (0.0101)_B$ 。

例 1.2.1 将十进制数29.3125转换为二进制数。

$$\begin{aligned}
 \text{解} \quad (29.3125)_D &= (29)_D + (0.3125)_D \\
 &= (11101)_B + (0.0101)_B \\
 &= (11101.0101)_B
 \end{aligned}$$

1.2.3 二进制数与八进制数、十六进制数之间的转换

八进制数的基数是8,十六进制数的基数是16,它们与二进制数的基数之间满足 2^3 和 2^4 的关系,因此可以直接进行转换。

将二进制转换为八进制或十六进制数的方法为:将待转换的二进制数从小数点开始,分别向左、右按3位(转换为八进制数)或4位(转换为十六进制数)分段,高位不足时在有效位前加0,低位不足时在有效位后加0,然后把每段二进制数转换成八进制或十六进制即可。

例如,将二进制数1101111.00011分别转换为八进制数和十六进制数。

转换为八进制数: $(1101111.00011)_B = (001/101/111.000/110)_B = (157.06)_O$

转换为十六进制数： $(1101111.00011)_B = (0110/1111.0001/1000)_B = (6F.18)_H$

将八进制数转换成二进制数时，可按上述方法的逆过程进行。

1.3 编 码

不同的数码不仅可以表示数量的大小，还可以表示不同的事物。用来表示不同事物的数码称为代码。在数字系统或计算机中，数据和信息都是用二进制数字符号 0 和 1 来表示的，指定某一组二进制数去代表某一指定的信息，称为编码。

1.3.1 常用二-十进制码

用二进制码表示十进制数，简称为二-十进制码，也称为 BCD 码，这种编码具有二进制的性质，同时还具有十进制的特点。BCD 码又分为有权码和无权码。有权 BCD 码指每一位十进制数均用一组 4 位二进制码来表示，而且二进制码的每一位都有固定权值。无权 BCD 码指用来表示十进制的 4 位二进制码中，每一位都没有固定的权值。表 1.3 介绍了几种常用的编码。

表 1.3 十进制常用的二进制编码

十进制数码	8421 码	2421 码	余 3 码	格雷码
0	0000	0000	0011	0000
1	0001	0001	0100	0001
2	0010	0010	0101	0011
3	0011	0011	0110	0010
4	0100	0100	0111	0110
5	0101	1011	1000	0111
6	0110	1100	1001	0101
7	0111	1101	1010	0100
8	1000	1110	1011	1100
9	1001	1111	1100	1101

1. 8421 码

8421 码是最基本、最简单的一种编码，应用十分广泛。这种编码是将每个十进制数码用 4 位二进制数表示，按自然二进制数的规律排列，并且规定前面 10 个代码依次表示数码 0~9。8421 码是一种有权码，其中“8421”是指在这种编码中，代码从高位到低位的位权值分别为 8、4、2、1。将其代码为 1 的数权值相加即可得代码所代表的十进制数。

8421 码对于十进制的 10 个数码的表示与普通二进制中的表示完全相同，很容易实现彼此之间的转换。这种码具有奇偶特性，当十进制数码为奇数值时，其所对应的二进制码最低位为 1；当十进制数码为偶数时，其所对应的二进制代码的最低位为 0。

必须指出，在 8421 码中不允许出现 1010~1111 这几个代码，因为在十进制中没有数码与它们对应。

2. 2421 码

2421 码和 8421 码相似,也是一种有权码,用 4 位二进制数代表一位十进制数,2421 码的权从高位到低位,每位的位权值分别为 2、4、2、1。

2421 码是一种“对 9 的自补”代码。在这种编码中,十进制数 0 和 9、1 和 8、2 和 7、3 和 6、4 和 5 的对应码位,当其中一个为 0 时,另一个就为 1,互为反码。也就是说,2421 码自身按位求反,就能很方便地知道其“对 9 的补数”的 2421 码。

在计算机中对十进制进行运算时,2421 码的这一特性很有用。需要指出的是,2421 码的编码方案不只一种,表 1.3 给出的只是其中的一种。

3. 余 3 码

余 3 码是一种特殊的 8421 码,它是由 8421 码加 3 后形成的,所以称为余 3 码。例如,十进制数 4 在 8421 码中是 0100,在余 3 码中就成为 0111。余 3 码的各位无固定的权。

余 3 码也是一种“对 9 的自补”编码。利用余 3 码能很方便地求得某数“对 9 的补数”,即把该读数的余 3 码自身按位取反,就得到该数对 9 的补数的余 3 码。

4. 格雷码

格雷(Gray)码又称为循环码,它有多种编码形式,但其共同的特点是,任意两个相邻的代码之间仅有一位不同,其余各位均相同。格雷码是一种可靠性编码。代码在数字系统中处理及传送过程中,都可能发生错误,可靠性编码是一种不易出错,或者出错后容易被发现的编码方式。

1.3.2 奇偶校验码

奇偶校验码是一种能检验二进制在传送过程中是否出现错误的编码。它分为两部分,一部分是信息位,这就是需要传送的信息本身;另一部分是奇偶校验位,它使整个代码中的 1 的个数按预先的规定成为奇数或偶数。当信息位和校验位中 1 的总个数为奇数时,称为奇校验;当 1 的总个数为偶数时,称为偶校验。表 1.4 中就是由 4 位信息位和 1 位奇偶校验位构成的 5 位奇偶校验码。

表 1.4 十进制数码的奇偶校验码

十进制数码	带奇校验的 8421 码		带偶校验的 8421 码	
	信息位	校验位	信息位	校验位
0	0000	1	0000	0
1	0001	0	0001	1
2	0010	0	0010	1
3	0011	1	0011	0
4	0100	0	0100	1
5	0101	1	0101	0
6	0110	1	0110	0
7	0111	0	0111	1
8	1000	0	1000	1
9	1001	1	1001	0